

# 砂地盤における抗土圧構造物の掘削に関する粘弾塑性有限要素解析 “The excavation analysis of continuous wall in sand foundation with excavation by visco-elasto-plastic FEA”

岡島 賢治\*, 田中 忠次\*  
Okajima Kenji, Tanaka Tadatsugu

## 1. はじめに

土構造物の施工において、施工中・施工後に長期にわたり一定の応力状態で放置されると、地盤はクリープ変形を起こす。通常、時間依存性の影響が小さいと考えられている乾燥砂の抗土圧構造物の掘削による転倒破壊実験において、時間依存性が見られた。このため、この問題に対し要素試験によって三要素モデルを発展させた TESRA モデル (Temporary Effect of Strain Rate and Acceleration Model) (2002, Tatsuoka ら) を組み込んだ粘弾塑性有限要素解析手法を開発し、抗土圧構造物の粘弾塑性破壊メカニズムを検討する。

## 2. 模型実験

実験装置は幅 150cm, 高さ 70cm, 奥行き 50cm の箱形実験槽を用いた。地盤材料には気乾状態の豊浦標準砂を用いた。Fig.1 に実験装置の横断面図を示した。壁体には幅 0.2cm, 高さ 65cm, 奥行き 49.4cm のアルミ板を用いた。掘削は壁体背面地盤の片側土層を真空吸引機を用いて非接触に 2.5cm ずつ均等に除去し、レーザー変位計を用いてそれとともに壁体頂端部の水平変位を測定した。掘削後は変位の増分が 10 分以上一定となったときを変位増分の収束時点とみなし、変位増分の収束時点まで安置した。この実験における相対密度は 83.9% である。

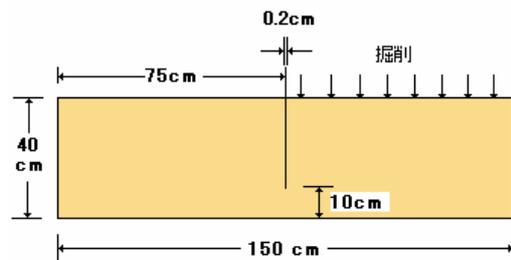


Fig.1 実験土層の概要  
Fig.1 Layout of experiment

Fig.2 に実験結果を示す。Fig.2 は掘削後の時間経過と壁体頂端部の水平変位を示している。矢印が掘削を行った時点で 2 回目(5cm)から 9 回目(22.5cm) の計 8 本の矢印を図示した。変位増分傾向としては、掘削直後に変位が急激に増大し、以降徐々に増大していく傾向をみせた。また、掘削が進むにつれてその時間効果は顕著に現れ、スティック・スリップ現象的であるといえた。

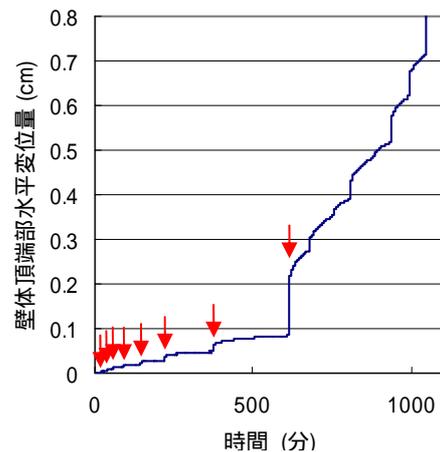


Fig.2 時間経過に伴う壁体頂端部変位  
Fig.2 Relation between displacement of wall top and time

## 3. 弾粘塑性有限要素解析

弾塑性構成式には、降伏条件に Mohr-Coulomb 型、塑性ポテンシャルに Drucker-Prager 型を用いた。また、構成式は硬化・軟化関数、せん断帯幅、異方性といった土の特性が考慮されている(1988, Tanaka and Kawamoto)。

粘塑性構成式は Duvant-Lion が提案し Simo(1988)が適用した塑性ひずみ速度依存構成式を基にしている。

\*) 東京大学大学院 Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo  
キーワード: 土構造物の解析 土圧

$$\sigma^v = \sigma - \sigma^f = \eta C \dot{\varepsilon}^{vp} \quad (1)$$

$$\dot{q} = -1/\eta(q - q^f) \quad (2)$$

ここで、 $\sigma^v$ は粘性応力、 $\sigma$ は全応力、 $\sigma^f$ は弾塑性応力、 $\eta$ は粘性率、 $C$ は弾性係数、 $\dot{\varepsilon}^{vp}$ は粘塑性ひずみ速度、 $q$ は内部変数。式(1)(2)をオイラーの後退差分により差分し、次ステップを求める。TESRA モデル(2002, Tatsuoka ら)は詳細な実験により、応力を不可逆ひずみとその速度によって以下の式のように提案された。

$$\sigma^v = \int r^{\varepsilon^{ir} - \tau} d\sigma^v \quad (3)$$

$$d\sigma^v = \frac{\partial \sigma^f(\varepsilon^{ir})}{\partial \varepsilon^{ir}} \cdot g_v(\dot{\varepsilon}^{ir}) d\varepsilon^{ir} + \sigma^f(\varepsilon^{ir}) \cdot \frac{\partial g_v(\dot{\varepsilon}^{ir})}{\partial \dot{\varepsilon}^{ir}} d\dot{\varepsilon}^{ir} \quad (4)$$

$$g_v(\dot{\varepsilon}^{ir}) = \alpha \cdot [1 - \exp\{1 - (\dot{\varepsilon}^{ir} / \dot{\varepsilon}_r^{ir}) + 1\}] \quad (5)$$

ここで、 $g_v$ は粘性関数、 $\varepsilon^{ir}$ は不可逆ひずみでドットはその速度、 $r^{\varepsilon^{ir} - \tau}$ は減衰関数で安定係数  $r$  は ( $0 < r < 1$ ) となる。 $\tau$ は過去に  $d\sigma^v$ を生じたときのひずみである。 $\dot{\varepsilon}_r^{ir}$ は基準となる不可逆ひずみ速度で定数として与える。非線形解析は陰陽混合型の動的緩和法をリターンマッピング法と組み合わせて使用した。

解析における弾塑性パラメータは、相対密度  $D_r=84\%$ 、残留内部摩擦角  $r=34^\circ$ 、ピーク応力比  $f=0.1$ 、硬化関数  $m=0.3$ 、せん断帯におけるひずみ軟化率  $r=0.6$ 、せん断帯幅  $S.B.=0.3\text{cm}$  としている。また、粘塑性パラメータには、実験により検討された値として、 $\dot{\varepsilon}_r^{ir} = 0.00000001$ 、 $\alpha = 0.35$ 、 $r = 0.1$  を与えた。

#### 4. 解析結果と考察

粘弾塑性解析は、実験を平面ひずみ条件とみなし、有限要素は4節点アイソパラメトリック要素を使用し、地盤材料は1点積分としている。メッシュは要素数830、節点数912とし、Fig.3に示す。Fig.4に時間と壁体頂端部水平変位の関係を示す。解析結果は掘削後急激に増大し、その後徐々に増大する変位増分傾向を表現できているといえる。

以上より、本解析手法が掘削を伴う抗土圧構造物の転倒破壊問題における時間依存性問題についても有効な解析手法となりうることがわかった。今後、さらに検討を進めることで抗土圧構造物の転倒破壊問題における時間依存性のメカニズムの解明を目指したい。

#### 参考文献

Tanaka T. and Kawamoto O. (1988), "Three Dimensional Finite Element Collapse Analysis for Foundation and Slopes using Dynamic Relaxation", *Proceedings of Numerical Methods in Geomechanics*, Innsbruck, pp.1213-1218

Tatsuoka F, Ishihara M, Di Benedetto H and Kuwano R. (2002), "Time-dependent Shear Deformation Characteristics of Geomaterials and Simulation", *Soils and Foundations*, Vol.42, No.2, pp.103-129

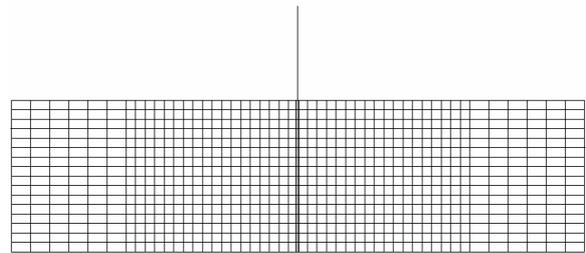


Fig.3 有限要素メッシュ  
Fig.3 FEA mesh for this analysis

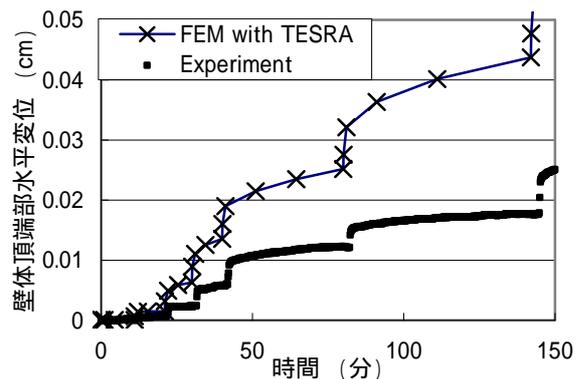


Fig.4 解析結果と実験結果の比較  
Fig.4 Comparison of FEA by TESRA to experiment